

Simulasi Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan *Open Limestone Channel* Skala Laboratorium

Nurfasiha^{1}, Ginting Jalu Kusuma²*

1. Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka.

2. Program Studi Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.

**nurfasiha23@yahoo.com*

SARI

Air asam tambang merupakan air yang mempunyai tingkat keasaman dan logam terlarut yang relatif tinggi, terbentuk dari hasil oksidasi mineral pirit, oleh oksigen dan air. Untuk memperoleh kualitas air yang sesuai dengan standar baku, maka harus dilakukan pengolahan. Salah satu teknologi pengolahan air asam tambang yaitu *Open limestone channel*. *Open limestone channel* dirancang untuk menetralkan keasaman menggunakan batugamping sebagai bahan penetral. Untuk mengetahui kemampuan *open limestone channel* dalam menetralkan air asam tambang maka dilakukanlah penelitian pada skala laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi performa *open limestone channel* dalam meningkatkan kualitas air asam tambang. Berdasarkan hasil pengujian kualitas air dengan debit air $Q_1 < Q_2 < Q_3$, kenaikan nilai pH rata-rata pada outlet untuk ukuran butir besar ($C_{50} = 11$ mm) yaitu 3,40 pada Q_1 , 2,93 pada Q_2 dan 3,22 pada Q_3 . Untuk ukuran butir sedang ($C_{50} = 7,12$ mm) nilai pH rata-ratanya yaitu 6,53 untuk Q_1 , 5,72 untuk Q_2 dan 5,99 untuk Q_3 sedangkan untuk ukuran butir kecil ($C_{50} = 4,05$ mm) nilai pH rata-ratanya yaitu 6,51 untuk Q_1 , 6,25 untuk Q_2 dan 6,26 untuk Q_3 . Dari hasil pengujian kualitas air tersebut dapat diketahui bahwa variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja *open limestone channel* (OLC) di antaranya yaitu luas permukaan batugamping dan waktu tinggal. Semakin luas permukaan batugamping maka kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik dan semakin lama waktu tinggal maka waktu (kecepatan) reaksi antara batugamping dengan air asam tambang akan semakin lama sehingga kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik pula.

Kata kunci: air asam tambang; *open limestone channel*; batugamping; luas permukaan.

ABSTRACT

Acid Mine Drainage (AMD) is characterized as water with high acidity value and elevated metal contents, as a result of oxidation of pyrite in presence of oxygen and water. To ensure that effluent water quality comply with effluent standard, treatment on AMD need to be conducted. One of method on AMD Passive Treatment is open limestone channel (OLC). An OLC is designed and constructed to neutralize AMD by using limestone.

How to Cite: Nurfasiha, Kusuma, G.J., 2020. Simulasi Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan *Open Limestone Channel* Skala Laboratorium. Jurnal Geomine, 8(1): 32-43.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submite 11 Maret 2020

Received in from 12 Maret 2020

Accepted 29 April 2020

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



To evaluate the neutralizing performance of an OLD, a laboratory-scaled simulation is made. This simulation is also conducted to study physical variables that affecting performance of an OLC to neutralize and enhance the quality of AMD. The study is made by using three different size of limestone (namely coarsegrained, medium-grained and fine-grained). The study shows that with increasing water-flow rate ($Q_1 < Q_2 < Q_3$), pH values at the outlet of model with coarsegrained limestone ($C50 = 11$ mm) are 3,40, 2,93 and 3,22 respectively. pH values at the outlet of model with coarse-grained limestone ($C50 = 7,12$ mm) are 6,53, 5,72 and 5,99 respectively. pH values at the outlet of model with fine-grained limestone ($C50 = 4,05$ mm) are 6,51, 6,25 and 6,26 respectively. The results are indicating variables that affecting performance of OLC, i.e. surface area of limestone and retention time. As surface area of limestone increasing, pH value of water at outlet is higher; the longer retention time, the higher pH value of water at the outlet, as a result of increasing reaction between water and limestone.

Keyword: Acid Mine Drainage, Open Limestone Chanel, Limestone, Surface Area.

PENDAHULUAN

Permasalahan yang menjadi isu lingkungan pada kegiatan pertambangan khususnya pada tambang batubara adalah Air Asam Tambang (AAT). Air asam tambang adalah air yang bersifat asam (tingkat keasaman yang tinggi dan sering ditandai dengan nilai pH yang rendah di bawah 5) dan kelarutan logam yang tinggi (Indra dkk., 2014) sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang terdedah (*exposed*) di udara dengan kehadiran air (Gautama, 2012).

Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh air asam tambang dapat diminimalkan dengan cara mencegah kontak langsung antara mineral sulfida, oksigen dan air (Maharani dkk., 2019). Metode pencegahan merupakan metode yang paling efektif, namun pada kenyataannya pembentukan air asam tambang sangat sulit untuk dicegah, khususnya di aktivitas penambangan (Kasmiani dkk., 2018). Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan untuk memperoleh kualitas air yang lebih baik berdasarkan standar baku mutu lingkungan yang sesuai dengan Kepmen LH No. 113 tahun 2003 tentang baku mutu air limbah dari kegiatan pertambangan batubara.

Teknologi pengolahan air asam tambang terbagi menjadi tiga cara yaitu teknologi pengolahan aktif (*active treatment*), teknologi pengolahan pasif (*passive treatment*) dan teknologi pengolahan insitu (*in situ treatment*). Teknologi pengolahan aktif merupakan suatu teknologi yang memerlukan operasi, perawatan dan pemantauan oleh manusia secara terus menerus. Pengolahan aktif terdiri dari aerasi, netralisasi, penghilangan logam, presipitasi kimiawi, proses *membrane*, pertukaran ion dan penghilangan sulfat secara biologi (Said, 2014). Sedangkan, teknologi pengolahan pasif merupakan suatu teknologi pengolahan yang memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara alami seperti gradien topografi, energi metabolisme mikroba, fotosintesis dan energi kimiawi (Henny dkk., 2010). Teknologi pasif tidak membutuhkan intervensi manusia secara regular dalam pengoperasian dan perawatan. Teknologi pengolahan pasif terdiri dari *aerobic wetlands*, *anaerobic wetlands* and *anaerobic biochemical reactors*, *Anoxic Limestone Drains* (ALD), *Reducing and Alkalinity Producing System* (RAPS) dan *Open Limestone channel* (OLC).

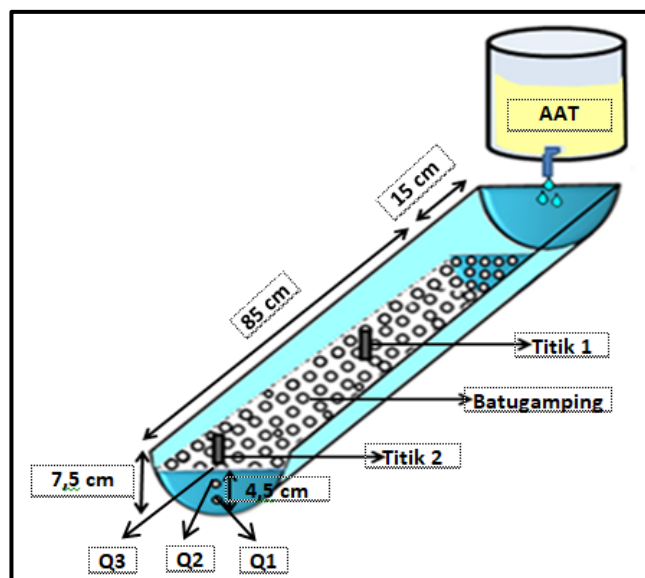
Open limestone channel atau saluran terbuka batugamping merupakan teknologi pengolahan air asam tambang yang memanfaatkan batugamping sebagai bahan penetral. Batugamping yang ditumpuk pada saluran akan larut oleh air asam dan akan melepaskan alkalinitas yang mampu meningkatkan pH air (Ziemkiewicz et al., 1997; Green et al., 2008; Alcolea et al., 2012). Batu gamping banyak digunakan dalam proses penetralan air asam tambang karena relatif murah.

Kemampuan *open limestone channel* dalam menetralkan air asam tambang dipengaruhi oleh beberapa variabel. Oleh karena itu, untuk mengetahui variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja atau performa *open limestone channel* dalam meningkatkan kualitas air asam tambang, maka dilakukanlah penelitian dalam skala kecil yaitu

laboratorium, yang memanfaatkan batugamping sebagai bahan penetral untuk meningkatkan pH dan menurunkan kandungan logam yang sesuai dengan standar baku mutu, sebelum dialirkan ke badan perairan umum.

METODE PENELITIAN

Saluran *open limestone channel* didesain dengan menggunakan *acrylic* yang berbentuk setengah lingkaran dengan panjang 100 cm dan kedalaman 7,5 cm. Air asam tambang yang digunakan untuk setiap percobaan \pm 10 liter dan batugamping yang digunakan \pm 4 kg. Bagian tengah dan ujung saluran masing-masing dipasang alat pH meter pada titik 1 dan titik 2 yang bertujuan untuk mengetahui kualitas air di saluran, sedangkan untuk mengetahui kualitas air di *outlet*, dibagi menjadi 3 titik pengambilan sampel yaitu Q1, Q2 dan Q3. Pengambilan sampel pada Q1 untuk mengetahui kualitas air yang keluar dari bawah atau dasar saluran, Q2 untuk mengetahui kualitas air yang keluar dari tengah saluran dan Q3 untuk mengetahui kualitas air yang keluar dari atas atau permukaan saluran. Pada penelitian ini digunakan 2 model debit air yaitu $Q1 > Q2 > Q3$ dan $Q1 < Q2 < Q3$ agar dapat lebih meyakinkan apakah debit air memberikan pengaruh yang signifikan dalam peningkatan kualitas air di antaranya adalah pH.



Gambar 1. Desain *Open Limestone Channel*

HASIL PENELITIAN

Batugamping (*Limestone*)

Sampel batugamping yang digunakan pada simulasi *open limestone channel* berasal dari Padalarang, Jawa Barat. Hasil uji *X-Ray Diffraction* yang telah dilakukan di Laboratorium Analisa Bahan Galian Prodi Teknik Metalurgi ITB menunjukkan bahwa batugamping yang digunakan mengandung mineral kalsit sebesar 57,2% dan dolomit 42,8%.

Ukuran butir batugamping yang digunakan pada simulasi *open limestone channel* terdiri dari 3 ukuran butir yaitu ukuran butir besar ($-12,5+9,5$ mm), ukuran butir sedang ($-9,5+4,75$ mm) dan ukuran butir kecil ($-4,75+3,36$ mm). Ukuran butir batugamping berhubungan dengan luas permukaan. Luas permukaan batugamping untuk ukuran butir besar, sedang dan kecil dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Luas Permukaan Batu gamping

Ukuran Butir (mm)	Luas Permukaan Per unit massa (cm ² /gr)	Total Luas Permukaan (cm ²)	(m ²)
-12,5+9,5	2,52	10.070,47	1,01
-9,5+4,75	3,22	12.884,89	1,29
-4,75+3,36	8,27	33.060,80	3,31

Uji Kualitas Air Asam Tambang

Air asam tambang yang digunakan untuk simulasi *open limestone channel* merupakan air lindian (*leachate*) batubara yang diperoleh dari hasil uji kinetik yang menggunakan metode *Free Draining Column Leach* (FDCL) dari penelitian sebelumnya. Hasil pengujian kualitas air asam tambang dapat dilihat pada tabel 2.

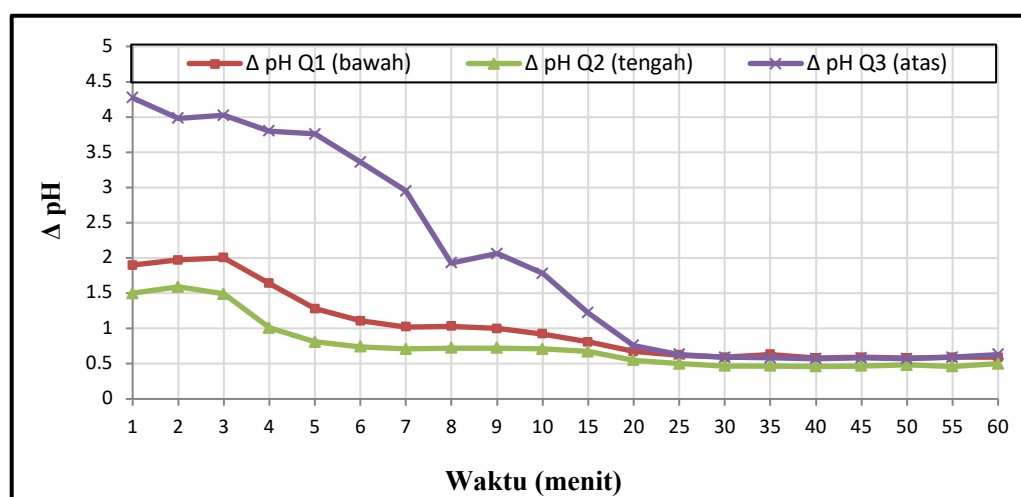
Tabel 2. Hasil Uji Kualitas Air Asam Tambang

Parameter	Satuan	AAT 1	AAT 2
pH	-	2,44	2,57
ORP (<i>Oxidation-reduction potential</i>)	mV	266	263
EC (<i>Electrical Conductivity</i>)	mS/cm	3,7	3,77
TDS (<i>Total Disolved Solid</i>)	mg/l	2.470	2.520

Variabel yang Mempengaruhi Kinerja *Open Limestone Channel*

Debit Air

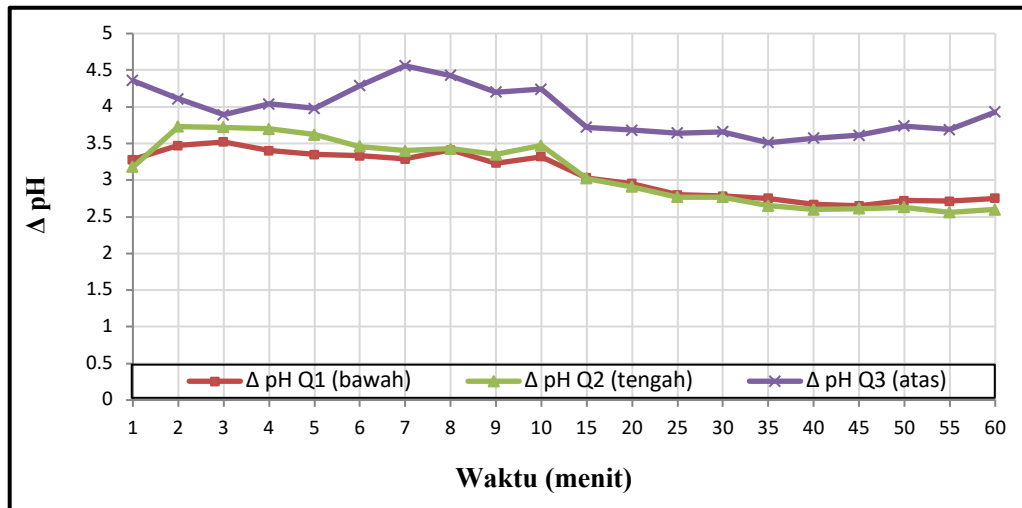
Debit air merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi kinerja *open limestone channel*. Semakin kecil debit air maka kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik dan semakin besar debit air maka kualitas air yang dihasilkan semakin berkurang. Grafik delta pH untuk debit air $Q_1 > Q_2 > Q_3$ di outlet dapat dilihat pada gambar 2 untuk ukuran butir besar, gambar 3 untuk ukuran butir sedang dan gambar 4 untuk ukuran butir kecil.



Gambar 2. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 > Q_2 > Q_3$ pada Ukuran Butir Besar

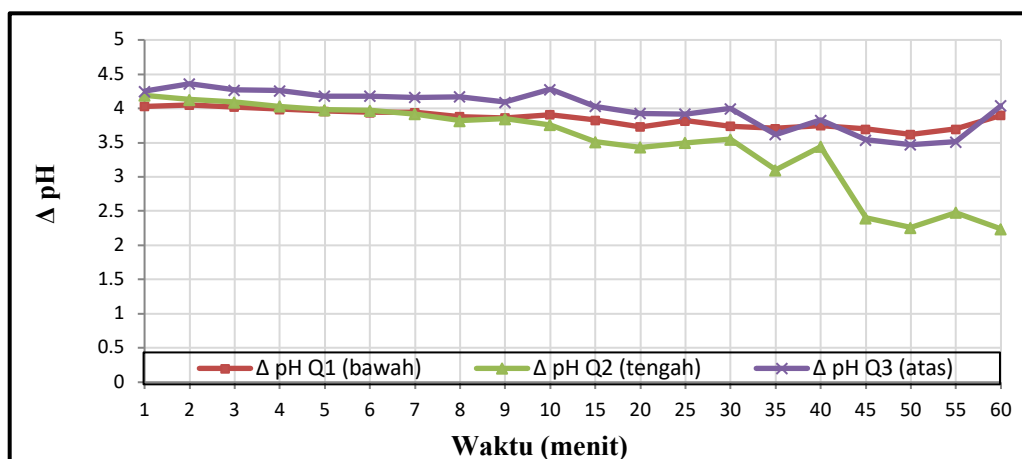
Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH yang dihasilkan pada awal percobaan mengalami penurunan sampai mencapai nilai pH yang konstan pada menit ke 20 sampai pada menit ke 60. Penurunan nilai pH tersebut disebabkan oleh perlapisan dipermukaan

batugamping, sehingga reaksi antara air asam tambang dengan batugamping menjadi tidak optimal lagi. Delta pH pada Q1 antara 0,58 sampai dengan 2, delta pH pada Q2 antara 0,46-1,59 dan delta pH pada Q3 antara 0,57-4,27. Terjadi anomali pada Q2. Jika berdasarkan debit air, seharusnya kenaikan nilai pH pada Q2 berada diantara Q1 dan Q2.



Gambar 3. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 > Q_2 > Q_3$ pada Ukuran Butir Sedang.

Secara umum, delta pH pada ukuran butir sedang (gambar 3), memperlihatkan nilai pH yang berfluktuasi dari menit pertama sampai menit terakhir pada Q3 sedangkan delta pH pada Q1 dan Q2 pada menit pertama mengalami kenaikan dan pada menit selanjutnya mengalami penurunan. Nilai pH mulai konstan pada menit ke 35 sampai pada menit ke 60 untuk Q1 dan Q2. Delta pH pada Q1 antara 2,65 sampai dengan 3,52, delta pH pada Q2 antara 2,56-3,37 dan delta pH pada Q3 antara 3,51-4,56.

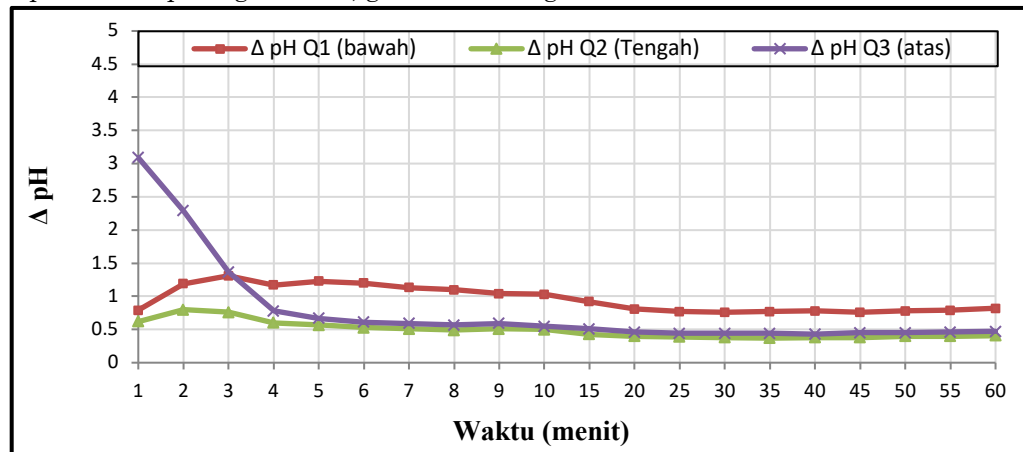


Gambar 4. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 > Q_2 > Q_3$ pada Ukuran Butir Kecil

Gambar 4 menunjukkan nilai delta pH pada ukuran butir kecil. Delta pH pada Q2 secara umum mengalami penurunan sampai pada menit ke 60. Pada delta pH pada Q1 dan Q3 pada menit-menit terakhir mengalami kenaikan. Delta pH pada Q1 antara 3,62-4,05, delta pH pada Q2 antara 2,24-4,19 dan delta pH pada Q3 antara 3,47-4,36.

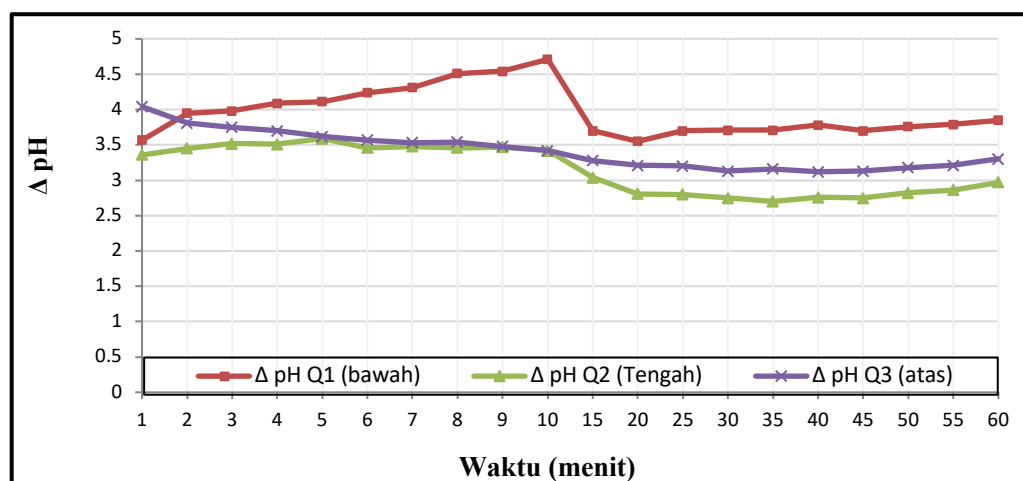
Berdasarkan gambar 2, gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan bahwa delta pH pada Q3 lebih besar dari Q1 dan Q2 karena debit air pada Q3 lebih kecil dibandingkan dengan Q1 dan Q2.

Delta pH untuk debit air $Q_1 < Q_2 < Q_3$ di outlet untuk ukuran butir besar, sedang dan kecil dapat dilihat pada gambar 5, gambar 6 dan gambar 7.



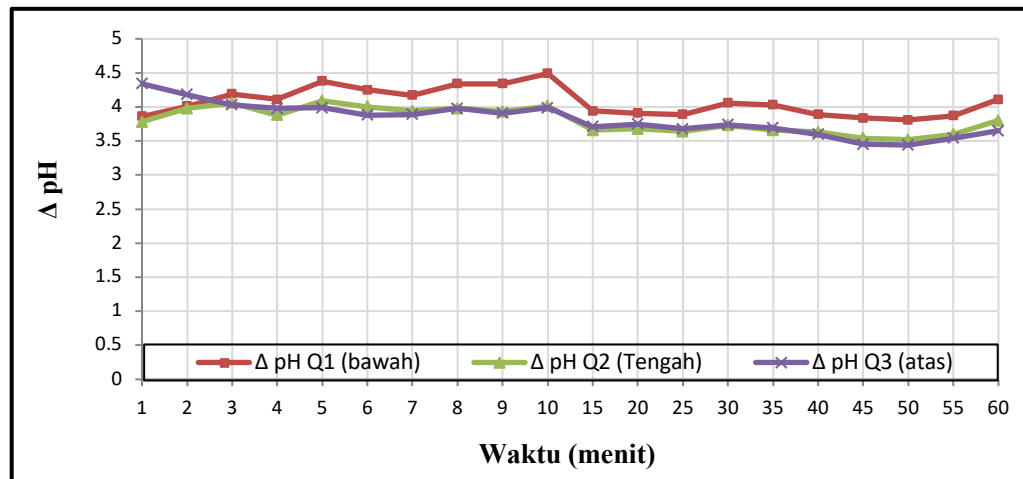
Gambar 5. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 < Q_2 < Q_3$ pada Ukuran Butir Besar

Gambar 5 menunjukkan delta pH pada ukuran butir besar dengan debit air $Q_1 < Q_2 < Q_3$. Delta pH pada Q_1 antara 0,76-1,31, delta pH pada Q_2 antara 0,37-0,80 dan delta pH pada Q_3 antara 0,43-3,09. Delta pH pada Q_1 lebih besar dibandingkan dengan Q_2 dan Q_3 karena debit air pada Q_1 lebih kecil dari Q_2 dan Q_3 .



Gambar 6. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 < Q_2 < Q_3$ pada Ukuran Butir Sedang

Gambar 6 menunjukkan delta pH pada ukuran butir sedang. Delta pH pada Q_1 antara 3,55-4,71, delta pH pada Q_2 antara 2,7-3,59 dan delta pH pada Q_3 antara 3,12-4,04. Delta pH pada Q_1 mengalami kenaikan sampai pada menit ke 10 dan mengalami penurunan pada menit ke 15 sedangkan delta pH pada Q_2 dan Q_3 secara umum mengalami penurunan.



Gambar 7. Delta pH berdasarkan Debit Air $Q_1 < Q_2 < Q_3$ pada Ukuran Butir Kecil

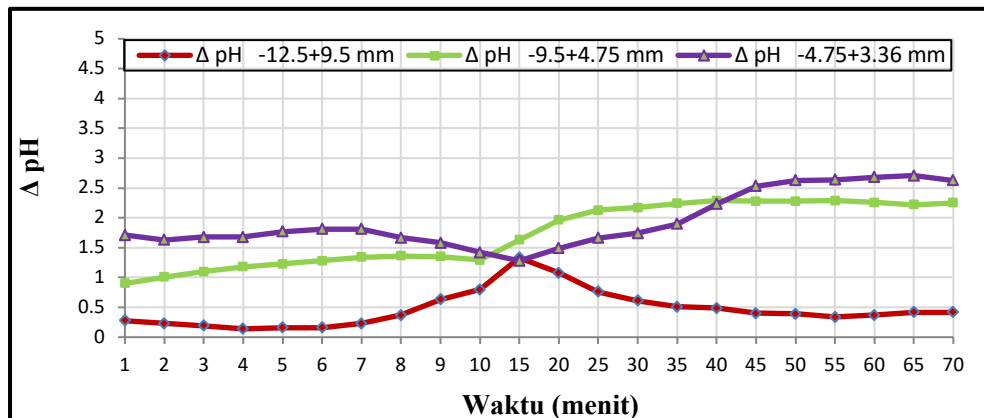
Secara umum, delta pH pada ukuran butir kecil (gambar 7), memperlihatkan nilai pH yang berfluktuasi dari menit pertama sampai menit terakhir. Delta pH pada Q_1 antara 3,81-4,49, delta pH pada Q_2 antara 3,52-4,09 dan delta pH pada Q_3 antara 3,44-4,34.

Hasil analisis pada grafik delta pH terlihat bahwa debit air yang paling kecil mempunyai nilai pH tinggi. Namun pada debit air sedang (Q_2) memiliki nilai pH yang paling rendah dibandingkan dengan debit air besar dan kecil. Menurut Chow (1985) bahwa dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Untuk dasar saluran yang halus, kecepatan aliran air di bagian permukaan saluran lebih cepat dibandingkan dengan di tengah dan di dasar saluran. Untuk dasar saluran yang kasar kecepatan air lebih besar di tengah saluran dan yang paling kecil di dasar saluran. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran air di tengah saluran lebih cepat dibandingkan dengan di permukaan dan di dasar saluran sehingga diperoleh nilai pH pada Q_2 lebih rendah dari Q_1 dan Q_3 .

Grafik pada gambar 7 juga memperlihatkan bahwa nilai pH yang dihasilkan pada pengujian awal mempunyai nilai pH yang tinggi, namun seiring berjalannya waktu, nilai pH yang dihasilkan akan semakin menurun hingga mencapai nilai pH yang konstan. Hal ini disebabkan oleh pelapisan yang telah terjadi di permukaan batugamping sehingga reaktivitas batugamping semakin berkurang.

Ukuran Butir dan Luas Permukaan Batugamping

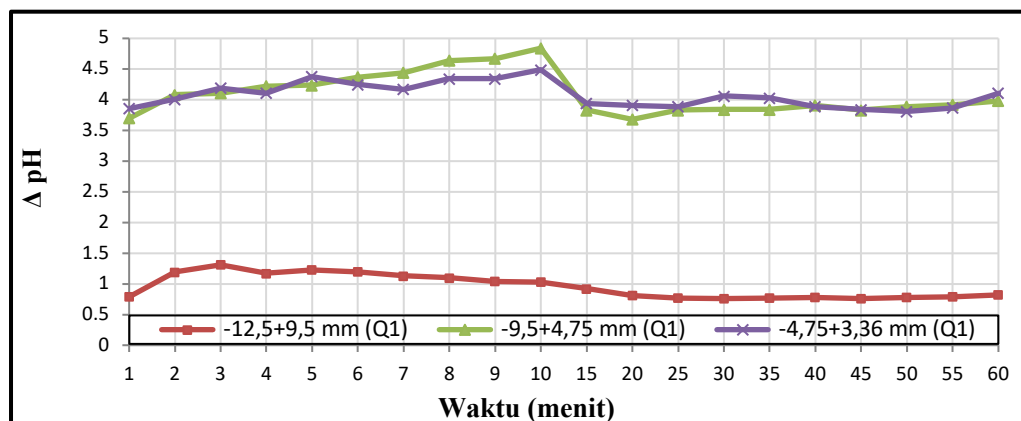
Berdasarkan hasil analisis data pada percobaan *open limestone channel* menunjukkan bahwa kemampuan penetralan air asam tambang untuk ukuran butir besar kurang optimal dibandingkan dengan ukuran butir sedang dan kecil. Hal ini dapat dilihat pada perubahan nilai pH (delta pH) di saluran dan di outlet. Perbandingan nilai delta pH di saluran berdasarkan ukuran butir besar, sedang dan kecil dengan debit air $Q_1 < Q_2 < Q_3$ dapat dilihat pada gambar 8.



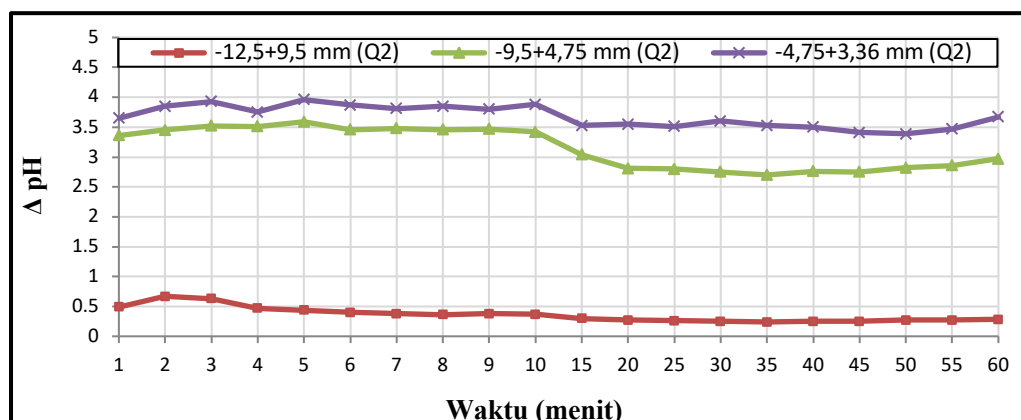
Gambar 8. Delta pH di Saluran dengan Debit Air $Q_1 < Q_2 < Q_3$

Grafik delta pH pada gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar ukuran butir maka kenaikan nilai pH semakin rendah dan semakin kecil ukuran butir maka kenaikan nilai pH semakin tinggi.

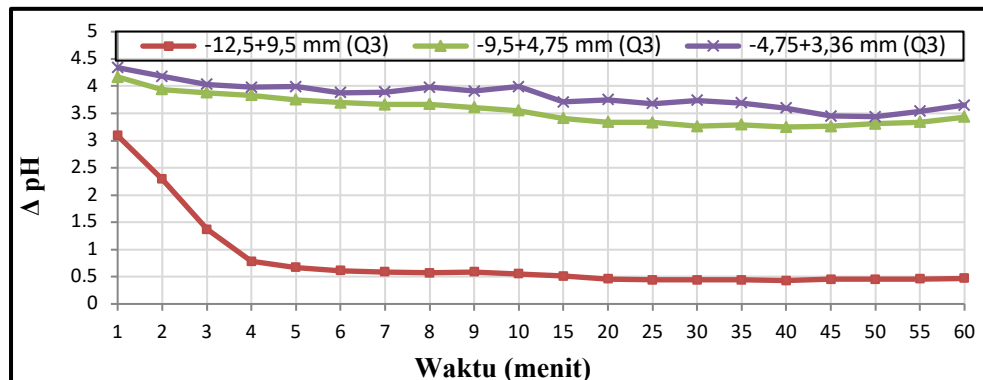
Perbandingan nilai delta pH di *outlet* untuk ukuran butir besar, sedang dan kecil dapat dilihat pada gambar 9 untuk Q_1 , gambar 10 untuk Q_2 , gambar 11 untuk Q_3 .



Gambar 9. Delta pH Q_1 untuk Ukuran Butir Besar, Sedang dan Kecil di *Outlet*



Gambar 10. Delta pH Q_2 untuk Ukuran Butir Besar, Sedang dan Kecil di *Outlet*

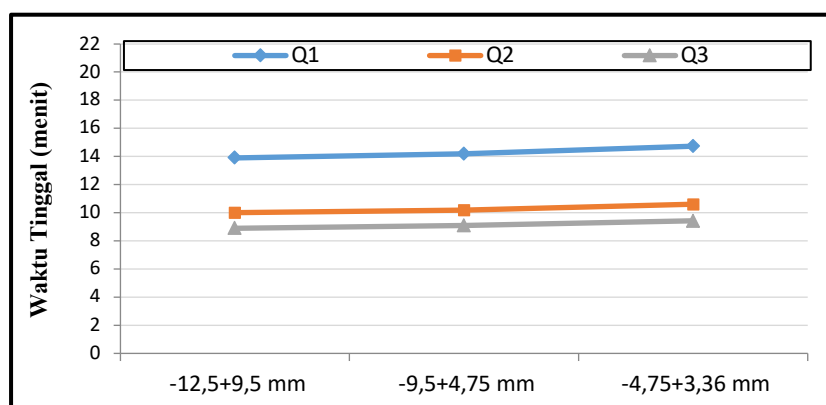


Gambar 11. Delta pH Q3 untuk Ukuran Butir Besar, Sedang dan Kecil di *Outlet*

Secara umum terlihat bahwa kemampuan penetralan air asam tambang dipengaruhi oleh ukuran butir seperti yang terlihat pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11. Pada grafik tersebut menjelaskan bahwa semakin besar ukuran butir batugamping maka kemampuan penetralan air asam tambang semakin berkurang.

Waktu Tinggal

Waktu tinggal atau waktu retensi mempunyai korelasi atau hubungan dengan debit air dan ukuran butir. Besarnya tingkat perubahan waktu tinggal yang dipengaruhi oleh debit air dan ukuran butir dapat dilihat pada gambar 12 dengan debit air $Q1 < Q2 < Q3$ dan ukuran butir besar, sedang maupun kecil.



Gambar 12. Waktu Tinggal berdasarkan Debit Air dan Ukuran Butir

Gambar 12 adalah grafik yang menunjukkan perubahan waktu tinggal berdasarkan debit air dan ukuran butir. Waktu tinggal untuk ukuran butir besar yaitu 13,90 menit pada Q1, 10,01 menit pada Q2 dan 10,94 menit pada Q3. Waktu tinggal untuk ukuran butir sedang yaitu 14,18 menit pada Q1, 10,21 menit pada Q2 dan 9,07 pada Q3. Sementara itu, waktu tinggal untuk ukuran butir kecil yaitu 14,74 menit pada Q1, 10,61 menit pada Q2 dan 9,43 menit pada Q3.

Debit air berbanding lurus dengan waktu tinggal, yakni semakin besar debit air maka waktu tinggal atau waktu retensi semakin cepat sehingga kecepatan atau waktu yang dibutuhkan batugamping dan air asam tambang untuk bereaksi semakin berkurang. Selain debit air, ukuran butir juga memberikan pengaruh yang signifikan dalam penetralan air asam tambang karena semakin besar ukuran butir yang digunakan maka waktu tinggal akan semakin cepat. Ukuran butir yang terlalu besar akan memberikan ruang (*void*) yang besar sehingga air asam tambang yang melewati batugamping akan cepat mengalir. Oleh karena

itu, semakin lama waktu kontak antara air asam tambang dengan batugamping, maka kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik.

Pemodelan PHREEQC

PHREEQC merupakan suatu program yang digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui model reaksi kimia yang terjadi dalam penetralan air asam tambang. Model reaksi kimia yang dihasilkan pada program PHREEQC menggunakan *inverse modeling* yang mempunyai nilai transfer mol. Nilai transfer mol yang bernilai positif menandakan pelarutan dan transfer mol yang bernilai negatif menandakan pengendapan (Parkhurst and Appelo., 2013).

Tabel 6. Model Hasil Simulasi *Inverse Modeling* PHREEQC untuk Ukuran Butir Besar

Q1>Q2>Q3	Mineral	Phase mole transfer	
		Rumus kimia	Transfer mol
Q1	Calcite	CaCO ₃	1.15E-03
	O _{2(g)}	O ₂	-1.96E-03
	CO _{2(g)}	CO ₂	-1.15E-03
Q2	Calcite	CaCO ₃	-2.53E-04
	O _{2(g)}	O ₂	-3.70E-03
	CO _{2(g)}	CO ₂	2.53E-04
Q3	Calcite	CaCO ₃	-2.53E-04
	O _{2(g)}	O ₂	-1.85E-03
	CO _{2(g)}	CO ₂	2.53E-04

Tabel 7. Model Hasil Simulasi *Inverse Modeling* PHREEQC untuk Ukuran Butir Sedang

Q1>Q2>Q3	Mineral	Phase mole transfer	
		Rumus kimia	Transfer mol
Q1	Calcite	CaCO ₃	3.21E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.45E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.73E-01
Q2	Calcite	CaCO ₃	3.35E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.45E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.33E-01
Q3	Calcite	CaCO ₃	2.99E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.43E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.33E-01

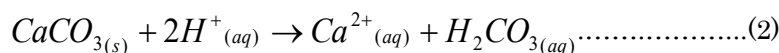
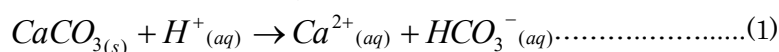
Tabel 8. Model Hasil Simulasi *Inverse Modeling* PHREEQC untuk Ukuran Butir Kecil

Q1>Q2>Q3	Mineral	Phase mole transfer	
		Rumus kimia	Transfer mol
Q1	Calcite	CaCO ₃	3.22E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.46E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.33E-01
Q2	Calcite	CaCO ₃	3.20E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.47E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.33E-01
Q3	Calcite	CaCO ₃	3.25E-02
	O _{2(g)}	O ₂	2.46E-01
	CO _{2(g)}	CO ₂	1.33E-01

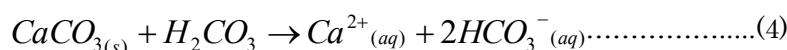
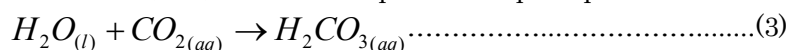
Berdasarkan hasil *inverse modeling* (tabel 6, tabel 7, tabel 8) terlihat bahwa mineral yang mempunyai peranan penting dalam penetralan air asam tambang adalah kalsit. Oksigen (O₂) yang dihasilkan dari *inverse modeling* tidak berperan dalam reaksi pelarutan CaCO₃, namun dapat disimpulkan bahwa kemungkinan O₂ berperan dalam oksidasi besi atau pembentukan logam lainnya.

Kalsit (CaCO₃) yang mempunyai nilai transfer mol positif menandakan bahwa telah terjadi reaksi pelarutan kalsit oleh air asam tambang sehingga akan menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂). Pada kondisi terlarut, gas karbon dioksida bereaksi dengan air dan membentuk asam karbonat (persamaan reaksi 3). Proses penetralan air asam tambang untuk nilai pH < 6,4 yang menghasilkan asam karbonat (H₂CO₃) dapat dilihat pada persamaan 2. pH akan semakin meningkat jika terjadi pelarutan mineral kalsit yang ditimbulkan oleh asam karbonat dan akan menghasilkan 2HCO₃⁻ seperti pada persamaan 4.

Persamaan pelarutan kalsit dalam menetralkan air asam tambang untuk asam lemah dengan pH > 6,4 dapat dilihat pada reaksi 1 dan asam kuat dengan pH < 6,4 dapat dilihat pada reaksi 2 (Santomartino dan Webb, 2007):



Pelarutan mineral karbonat (CaCO₃) yang ditimbulkan oleh asam karbonat (H₂CO₃) dapat dilihat pada persamaan reaksi 5 dan asam karbonat (H₂CO₃) yang terbentuk oleh pelarutan karbon dioksida (CO₂) dalam air dapat dilihat pada persamaan reaksi 4.



Tabel 9. Verifikasi Model Hasil Simulasi *Inverse Modeling* PHREEQC Ukuran Butir Besar, Sedang dan Kecil

Q1>Q2>Q3	pH								
	Ukuran Butir Besar			Ukuran Butir Sedang			Ukuran Butir Kecil		
	OLC	PHREEQC	Delta	OLC	PHREEQC	Delta	OLC	PHREEQC	Delta
Q1	3,2	2,002	1,198	6,28	5,855	0,425	6,5	5,836	0,664
Q2	2,82	1,949	0,871	5,32	5,855	0,535	6,17	5,836	0,334
Q3	2,88	1,949	0,931	5,7	5,855	0,155	6,18	5,836	0,344

Tabel 9 adalah tabel verifikasi kualitas air hasil OLC dengan kualitas air menggunakan PHREEQC. Pemilihan model yang dilakukan pada *inverse modeling* berdasarkan nilai delta. Delta adalah besaran atau selisih antara kualitas air OLC dengan kualitas air menggunakan program PHREEQC. Nilai delta yang diperoleh tidak boleh melebihi batas toleransi yaitu lebih kecil dari 1 (<1).

KESIMPULAN

1. Variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja atau performa *open limestone channel* (OLC) di antaranya yaitu luas permukaan batugamping dan waktu tinggal. Semakin luas permukaan batugamping maka kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik dan semakin lama waktu tinggal maka waktu (kecepatan) reaksi antara batugamping dengan air asam tambang akan semakin lama sehingga kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik pula.
2. Pembentukan endapan pada permukaan batugamping dapat menurunkan kemampuan batugamping dalam menetralkan air asam tambang sehingga *open limestone channel* tidak efektif digunakan untuk jangka waktu yang lama jika telah mengalami perlapisan.

PUSTAKA

- Alcolea, A., Vázquez, M., Caparrós, A., Ibarra, I., García, C., Linares, R. and Rodríguez, R., 2012. Heavy metal removal of intermittent acid mine drainage with an open limestone channel. *Minerals Engineering*, 26, pp.86-98.
- Chow, Ven Te. 1985. Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics). Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Gautama, Rudy Sayoga. 2012. Kursus Air Asam Tambang di Indonesia ke-4, Bandung 7-8 Februari 2012, Pelatihan Air Asam Tambang, Kelompok Keahlian Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Green, R., Waite, T.D., Melville, M.D. and Macdonald, B.C., 2008. Effectiveness of an open limestone channel in treating acid sulfate soil drainage. *Water, air, and soil pollution*, 191(1-4), pp.293-304.
- Henny, C., Ajie, G.S. and Susanti, E., 2010. Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Sistem "Passive Treatment". In *Dalam Prosiding Seminar Nasional Limnologi V* (pp. 331-343).
- Indra, H., Lepong, Y., Gunawan, F. and Abfertiawan, M.S., 2014. Penerapan Metode Active dan Passive Treatment Dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Site Lati. *Jurnal Ilmiah*. Oktober.
- Kasmiani, K., Widodo, S.W.S. and Bakri, H.B.H., 2018. Analisis Potensi Air Asam Tambang pada Batuan Pengapit Batubara di Salopuru Berdasarkan Karakteristik Geokimia. *Jurnal Geomine*, 6(3), pp.138-143.
- Maharani, S., Purwanto, P. and Hidayat, J.W., 2019. Permodelan Penyebaran Batuan Potential Acid Forming (PAF) dan Non Acid Forming (NAF) Sebagai Upaya Pengendalian Air Asam Tambang dengan Metode Capsuling di PT. Putra Perkasa Abadi Site Girimulya (BIB), Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan (Doctoral dissertation, School of Postgraduate).
- Parkhurst, L. D and Appelo. 2013. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. USGS. Chapter 43. Colorado
- Said, N.I., 2014. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara "Alternatif Pemilihan Teknologi". *Jurnal Air Indonesia*, 7(2).
- Santomartino, S & Webb, J. A. 2007. Estimating The Longevity of Limestone Drains in Treating Acid Mine Drainage Containing High Concentration of Iron.
- Ziemkiewicz, P.F., Skousen, J.G., Brant, D.L., Sterner, P.L. and Lovett, R.J., 1997. Acid Mine Drainage Treatment with Armored Limestone In Open Limestone Channels. *Journal of Environmental Quality*, 26(4), pp.1017-1024.